

하수 및 정수처리시설 디지털트윈 시뮬레이터 운영관리를 위한 의사결정항목 분석

The Analysis of Decision-making Items for Operation Management of Digital Twin Simulators for Sewage and Water Treatment Facilities

박기학* · 김서현** · 김극태***

Park, Kihak*, Kim, Seohyun**, and Kim, Keugtae***

Abstract

This paper addresses the derivation of decision-making factors for the operation and management of the Cyber Physical systems (CPS)-linked wastewater treatment plants (WWTPs) and drinking water treatment plants (DWTPs) simulator. The analytical hierarchy process (AHP) method was applied to evaluate the importance of each influencing factor on the operational elements targeting experts. Here, the experts were 37 people working for WWTPs and 30 people working for DWTPs, respectively. The analysis factors for decision-making were influent load, reactor capacity, treatment process, occurrence of high turbidity influent, risk, urgency, response, and recovery, and their relative importance was analyzed. Among the operational elements of WWTPs, influent fluctuations have been shown as the most important factor. Conversely, the possibility of occurrence was found to be the most important influencing factor. In the case of DWTPs, the inflow of high turbidity was found to be the main operating factor, and the influencing factors were the probability of occurrence and the degree of risk. Based upon the results obtained, this study is expected to contribute to the establishment of a stable system of both WWTPs and DWTPS by identifying influent fluctuations, which are a major influencing factor, and by controlling operation factors connected with the establishment of a digital twin simulation.

Key words : Analytic Hierachy Process (AHP), WWTPs, DWTPs, Digital Twin (DT)

요 지

본 연구는 CPS 연계 하수 및 정수처리시설 시뮬레이터의 운영관리 의사결정항목을 도출하기 위한 것으로 AHP 기법을 활용하여 하수 및 정수처리 분야 전문가를 대상으로 운영요인에 대한 영향인자별 중요도를 평가하였다. 하수 및 정수처리 분야 전문가 67인(하수처리 37인, 정수처리 30인)을 대상으로 일관성 비율을 고려한 설문지를 이용하여 주요한 영향인자를 도출하였다. 의사결정을 위한 분석요소는 유입수 수질부하, 반응조 용량, 처리공정, 고탁수 유입 등의 발생가능성, 위험도, 시급성, 대응 및 복구의 상대적 중요도를 분석 도출하였다. 하수처리시설은 유입수의 수질부하 변동이 가장 주요한 운영요인으로 분석되었으며, 영향인자로는 발생가능성이 주요한 항목으로 나타났다. 정수처리시설의 경우 고탁수 유입이 주요한 운영요인으로 나타났으며, 영향인자로는 발생가능성, 위험도 순으로 나타났다. 이러한 결과를 반영하여 주요 영향인자인 유입수의 변동을 파악하고, 이를 디지털트윈 시뮬레이터 구축과 연계하여 조기에 운영인자를 조절함으로써 안정적인 하수 및 정수 처리시스템에 이바지할 것으로 기대된다.

핵심용어 : AHP, 하수처리시설, 정수처리시설, 디지털 트윈

*정회원, 수원대학교 환경에너지공학과 연구교수(E-mail: parkihak@naver.com)

Member, Research Professor, Department of Environmental Energy Engineering, University of Suwon

** (주)에코피앤지 책임연구원

Ph.D., Senior Researcher, Eco P&G Co.

***교신저자, 정회원, 수원대학교 환경에너지공학과 조교수(Tel: +82-31-229-8355, Fax: +82-31-220-2533, E-mail: kktanju@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Environmental Energy Engineering, University of Suwon

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

1. 서 론

최근 기후변화의 영향으로 극심한 가뭄과 빈번한 집중호우로 지역 간의 “물 격차(Water Divide)” 문제가 발생하고 있으며, 이에 대한 대비가 요구되는 상황이다.

물산업은 인구증가, 기후변화에 따른 물부족 심화, 수질오염 등으로 21세기를 선도할 Blue Gold 산업으로 부상하였다. 현재 물산업은 빠르게 성장하고 있으며, 물산업의 패러다임 또한 변화하고 있다. 또한, 전기, 가스, 통신, 교통 등 다양한 지역 공공서비스 분야와 접목하여 종합서비스산업으로 발전하는 추세이다(Infact, 2019).

세계적으로 초창기인 IT 기반 물 관련 산업 분야는 발전가능성이 크고, 막강한 국내 IT 역량을 활용하여 국내 물산업 역량 강화에 기여할 것으로 기대되고 있다(KIAT, 2014). IBM은 Smart Water Management라는 개념으로 물관리의 지능화를 추구하고 있고, 삼성경제연구소는 ‘스마트 Social Overhead Capital (SOC)’라는 개념을 통해, IT 기반의 SOC가 기존 대비 20% 이상 효율이 높아질 것으로 발표하였다. 소비자 욕구 반영, 삶의 질 개선 등을 위한 Smart system 도입은 물, SOC 등 모든 분야에서 지속해서 늘어날 것으로 예상하고 있다(Jeon et al., 2020).

Cyber Physical Systems (CPS)는 대규모 센서 및 액추에이터를 가지는 물리적 요소와 이를 실시간으로 제어하는 컴퓨팅 요소가 결합된 복합시스템으로 센서로부터 수집된 정보와 물리 세계를 재현 및 투영하는 고도화된 시스템 모델들을 기반으로 사이버 물리 세계를 인지·분석·예측하는 것이다(Kim et al., 2021). 디지털 트윈(Digital Twin, DT)이란 현실 세계에 존재하는 사물, 시스템, 환경 등을 가상 공간에 동일하게 구현함으로써 가치를 제공하는 기술을 의미한다. DT는 운영자와 연계하여 가상 시뮬레이션을 진행하고 의사결정 지원을 담당하는 기술들이 개발되고 있다(PROCON, 2019).

DT는 2017년 이후 운영자와 연계하여 가상 시뮬레이션을 진행하고 의사결정을 지원하는 기술들이 개발되고 있으나 도시 내 물순환 및 물분야에 관한 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 CPS 연계 하수 및 정수처리시설 시뮬레이터의 운영관리 의사결정항목을 분석하기 위하여 Analytic Hierachy Process (AHP) 기법으로 분석을 시행하였다. 하수처리 및 정수처리 분야 전문가 그룹을 응답 대상으로 하수 및 정수처리 운영요인에 대한 영향인자별 중요도를 평가하여 운영관리 의사결정항목 우선순위를 도출하고자 한다.

2. 연구동향

Kim and Lee (2015)은 하수처리시설 증설사업의 준비단계에 포함되는 성능평가항목을 선정하여 AHP 기법을 활용한 가중치를 분석한 연구이다. 성능평가항목은 기존 하수처리시설의 Value Engineering (VE) 사례를 참고하여 계획성

을 포함한 7가지 항목을 대분류로 하여 세부 항목을 중분류로 선정하였다. VE 전문가와 하수처리시설 전문가를 대상으로 한 설문조사 결과를 바탕으로 AHP 기법을 적용하였으며 중분류 가중치를 주요공정 두 가지, 기계/전기, 상하수도/토목/건축에 대하여 추가로 가중치 평가(Level 3)를 진행하였다. 기계/전기 분야 AHP 가중치 분석 결과 슬러지 처리와 탈취 및 환기 계획, 폐기물 처리의 적정성 등이 가장 높게 평가되었으며, 이는 환경적인 측면이 주요 대상으로 도출되었음을 알 수 있었다. 상하수도/토목/건축 분야 AHP 가중치 분석 결과 시설의 활용성, 사용자의 만족성, 주민의 접근성 등이 가장 높게 평가되었으며, 이는 추가시설물에 대한 활용성이 주요 고려 대상으로 도출되었음을 알 수 있다.

Park et al. (2020)는 정수처리시설에서 3가지 자연재해(태풍, 호우, 지진)로 인한 피해를 예측하기 위해 재난지수를 개발하여 자연재해에 따른 수처리 시스템에 미치는 영향을 정량화하였다. 본 연구에서는 419개 정수처리시설에 대한 시설 사양 및 운영데이터를 활용하여 Principal Component Analysis (PCA), AHP 기법을 활용하여 통합모델 개발을 위한 연구를 수행하였다. AHP 기법을 시행할 때 설문조사를 실시하여 CR 0.2 미만인 응답자 52-69% 결과를 활용하여 가중치를 분석한 결과 태풍(0.481), 지진(0.321), 호우(0.198) 순으로 나타났다.

3. 연구 방법

3.1 계층분석적 의사결정방법(AHP) 개요

계층분석적 의사결정방법(AHP)은 1970년대 초반 T.Saaty에 의하여 개발된 것으로 의사결정 계층구조를 구성하고 있는 요소 간의 쌍대비교(Pairwise Comparision)에 의한 판단을 통해 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 새로운 의사결정 방법론이다. AHP는 이론의 단순성, 명확성 및 적용의 간편성, 범용성이라는 특징으로 말미암아 여러 의사결정 분야에서 널리 응용되고 있다(Choi, 2020; Kim et al., 2004).

3.2 AHP 절차 및 분석방법

AHP 가중치 추정 방법은 ‘의사결정계층 설정’, ‘의사결정 요소 간 쌍대비교’, ‘상대적 가중치 추정’, ‘상대적인 가중치 종합화’로 구성되어 있다.

3.2.1 의사결정계층 설정

AHP 첫 번째 단계로 의사결정 분석자는 상호 관련된 여러 의사결정 사항들을 계층화한다. 계층의 최상층에는 가장 포괄적인 의사결정 목적이 놓이며, 그다음의 계층들은 의사결정의 목적에 영향을 미치는 다양한 요소들로 구성된다. 이들 요소는 낮은 계층에 있는 것일수록 구체적인 것이 된다. 계층의 최하층은 선택의 대상이 되는 여러 의사결정 대안들로 구성된다.

3.2.2 의사결정 요소 간 쌍대비교

이 단계에서는 상위계층에 있는 요소들의 목표를 달성하는데 공헌하는 직계 하위계층에 있는 요소들을 쌍대비교행렬(pairwise comparison matrix)을 작성한다. 쌍대비교를 통하여 상위요소에 기여하는 정도를 Table 1과 같이 9점 척도로 중요도를 부여하는데, 직계 하위계층이 n 개의 요소로 구성되어 있다면 모두 $n(n-1)/2$ 회의 비교가 필요하다. 작성된 쌍대비교행렬 A 는 Eq. (1)과 같이 행렬의 대각을 중심으로 역수의 형태를 취하게 된다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $a_{ii} = 1$, $\forall i$

3.2.3 상대적 가중치 추정

한 계층 내에서 비교 대상이 되는 n 개 요소의 상대적인 중요도를 w_i ($i=1, \dots, n$)라 하면, 상기한 쌍대비교행렬에서의 a_{ij} 는 w_i/w_j ($i, j=1, \dots, n$)으로 추정할 수 있다. 즉, a_{ij} 와 w_i 사이에는 Eq. (2)가 성립한다.

$$a_{ij} = w_i/w_j \quad (i, j=1, \dots, n) \quad (2)$$

여기서, 행렬의 모든 요소를 나타내면 Eq. (3)과 같다.

$$\sum_j^n a_{ij} \cdot w_j \cdot \frac{1}{w_i} = n \quad (i, j=1, \dots, n) \quad (3)$$

즉, 요소 a_{ij} 로 구성되는 행렬 A 를 Eq. (4)와 같이 나타낼 때,

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

고유 벡터법(eigenvalue vector method)에 의하여, w 를 구할 수 있다(Eq. (5)).

$$A \cdot w = n \cdot w \quad (5)$$

여기서,

$w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$: 행렬 A 의 우측 고유 벡터
 n : 행렬 A 의 고유치

AHP에서는 평가자가 정확한 w 를 모르며, 쌍대비교에 의하여 정확한 평가를 할 수 없는 것으로 가정하기 때문에 실제로는 다음과 같은 식에서 w 를 추정한다. 즉, 쌍대비교행렬 A 의 각 요소에 대한 가중치 w 를 모른다고 했을 때, 이 행렬을 A' 라고 하며 이 행렬의 가중치 추정치 w' 는 Eq. (6)을 이용하여 구한다.

$$A' \cdot w' = \lambda_{\max} \cdot w' \quad (6)$$

여기서, $\lambda_{\max}$: 행렬 A' 의 가장 큰 고유치

여기서, $\lambda_{\max}$ 는 항상 n 보다 크거나 같으므로 계산된 $\lambda_{\max}$ 가 n 에 근접하는 값일수록 쌍대비교행렬 A 의 수치들이 일관성을 가진다고 말할 수 있다. 이러한 일관성의 정도는 다음과 같이 일관성 지수(Consistency Index, CI)와 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)을 통하여 구할 수 있다(Eqs. (7)~(8)).

$$\text{일관성 지수 (CI)} = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \quad (7)$$

Table 1. Scale of Pairwise Comparison

Point	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities are judged to have similar contributions.
3	Moderate importance	One activity is slightly preferred over another.
5	Strong importance	One activity is strongly preferred over another.
7	Very strong importance	One activity is very strongly preferred over another.
9	Extreme importance	One activity is extremely preferred over another.
2, 4, 6, 8	Median	It is used when it is judged that it corresponds to the median value.
Inverse number	Given a particular value, One activity has the reciprocal of that particular value with respect to another.	
1.1~1.9	For tied activities	This value is used when the comparison factors are very similar and almost indistinguishable. - 1.3: slight equality - 1.9: slight difference

$$\text{일관성 비율 (CR)} = (\text{CI/RI}) \times 100\% \quad (8)$$

일관성 비율의 수식에 Random Index (RI)는 난수지수를 의미한다. 이는 1에서 9까지의 수치를 임의로 설정하여 역수 행렬을 작성하고 이 행렬의 평균 일관성 지수를 산출한 값으로 일관성의 허용한도를 작성하고 이 행렬의 평균 일관성 지수를 산출한 값으로 일관성의 허용한도를 나타낸다. 경험 법칙에 의하여 위 식에서 구한 일관성 비율이 10% 이내에 들 경우, 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 규정한다.

3.2.4. 상대적인 가중치 종합화

이 단계에서는 계층의 최상위에 있는 의사결정의 목적을 달성하기 위하여 최하위에 있는 대안들의 우선순위를 결정하는 종합중요도 벡터(priority vector)를 산출하는데, 이는 3단계에서 구한 각 계층에서의 가중치를 종합함으로써 가능하다. 구체적으로, 최상위 계층에 대하여 k 번째 하위계층에 있는 대안들의 종합중요도는 Eq. (9)를 통하여 구할 수 있다.

$$C[1, k] = \prod_{i=2}^k B_i \quad (9)$$

여기서, $C[1, k]$: 첫 번째 계층에 대한 k 번째 계층 요소의 종합가중치

B_i : 추정된 w 벡터를 구성하는 행을 포함하는 $n_{i-1} \times n_i$ 행렬
 n_i : i 번째 계층의 요소 수

전체 계층의 종합중요도를 최하위 계층에 대한 직계 상위 계층의 가중치 행렬에 그 상위계층에서 구한 가중치 행렬을 곱하고 이 과정을 상위계층으로 반복하여 구하는 방법은 논란의 여지가 없이 인정되고 있다. 의사결정 또는 평가 문제의 시발점은 한 명의 의사결정자 또는 평가자가 쌍대비교에 의하여 평가 요소에 대한 상대적인 중요도를 판단하는 일에서부터 출발하지만, 실제로 현실 세계를 둘러싸고 있는 불확실성 때문에 복잡한 문제일수록 다수의 평가자가 필요하다.

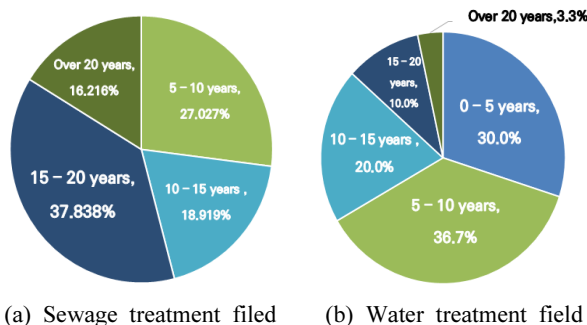


Fig. 1. Survey Results of Respondents' Field Expertise

4. 연구 결과

4.1 AHP 구성 및 응답자 특성

본 연구에서는 Fig 1과 같이 하수 및 정수처리 분야 전문가 67인(하수처리 37인, 정수처리 30인)을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 하수처리 분야 전문가의 근무경력은 15~20년이 37.8%, 5~10년이 27.0%로 전체 응답자의 약 64.9%를 차지하고 있으며, 공정운영/관리가 주된 업무 분야로 나타났다. 정수처리 분야 근무경력을 살펴본 결과 5~10년 36.7%, 0~5년 30.0%로 전체 응답자의 약 66.7%로 나타났고, 공정운영/관리가 주된 업무 분야로 분석되었다.

AHP 분석결과 도출 시 CR 0.2 이하인 응답을 반영하여 분석의 신뢰성을 높였다. 본 연구에서는 5가지 유형의 운영요인으로 '유입부하변동', '에너지저감', '반응조 용량(송풍량 포함)', '약품소비량 감소', '고도처리공정 증설'을 설정하였으며 운영요인이 하수 및 정수처리시설 운영 및 관리체계에 미치는 상대적인 중요도 산정을 위해 Eq. (10)을 활용하였다(Fig. 2).

$$\begin{aligned} \text{총괄운영지수} = & A \times \text{유입부하지수} + B \times \text{에너지} \\ & \text{저감지수} + C \times \text{반응조 용량지수} \\ & + D \times \text{약품소비량지수} + E \times \text{고} \\ & \text{도처리증설지수} \end{aligned} \quad (10)$$

유형별 재난지수를 4가지 세부지표인 발생가능성(P), 위험도(D), 시급성(U), 대응 및 복구(N)이 유형별 재난지수에 미치는 상대적 중요도를 산정하는 식은 Eqs. (11)~(15)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{유입부하지수(I)} = & a_i \times P_i + b_i \times D \\ & + c_i \times U - d_i \times R \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{에너지저감지수(E)} = & a_e \times P_e + b_e \times D \\ & + c_e \times U - d_e \times R \end{aligned} \quad (12)$$

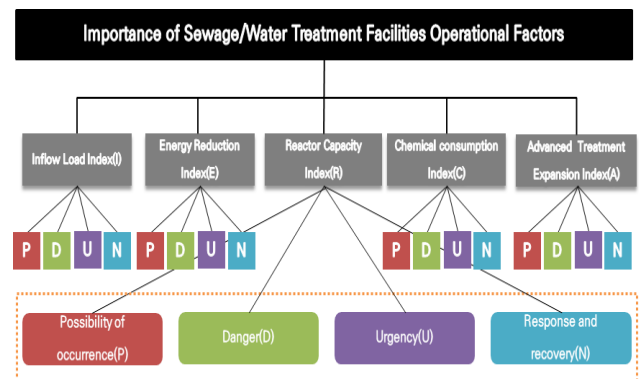


Fig. 2. Hierarchical Segmentation for AHP

$$\text{반응조 용량지수(R)} = a_e \times P_e + b_e \times D + c_e \times E - d_e \times R_e \quad (13)$$

$$\text{약품소비량지수(C)} = a_e \times P_e + b_e \times D + c_e \times E - d_e \times R_e \quad (14)$$

$$\text{고도처리증설지수(A)} = a_e \times P_e + b_e \times D + c_e \times E - d_e \times R_e \quad (15)$$

‘발생가능성(P)’은 하수 및 정수처리시설이 위치한 지역의 자연적 인자(하천/호소 유입수 및 하수유입수 등)를 고려하는 것으로 ‘위험도(D)’는 하수/정수 처리량, 관로 밀도(관 길이/관리구역 면적) 등 하수/정수처리시설의 규모 및 용량에 대한 지표이다. ‘시급성(U)’은 정수 및 하수처리시설 운영 중단에 따라 발생하는 피해의 시급한 복구가 필요한 정도를 말하며, ‘대응 및 복구(N)’는 정수 및 하수처리시설 관리 지자체의 재정 능력, 대응 인력(근무자) 등을 고려 시 사고 발생에 대응할 수 있는 능력을 말한다. ‘대응 및 복구’를 제외한 항목들은 운영지수가 높아질수록 재난지수가 높아지나 ‘대응 및 복구’는 운영지수가 높아질수록 해당 재난지수가 낮아지는 형태로 해당 값은 음수로 적용한다.

4.2 하수처리시설 분석 결과

하수처리시설 운영요인 중 ‘유입수 수질 부하 변동’이 40.9%로 가장 높은 중요도로 나타났으며, ‘반응조 용량 부족(19.0%)’, ‘고도처리공정 증설(15.1%)’ 순으로 나타났다. 운영요인별 세부지표 중요도를 살펴본 결과 ‘반응조 용량 부족’을 제외한 요인들은 발생가능성이 가장 높은 영향인자로 나타났으며, ‘반응조 용량 부족’에서는 위험도가 가장 높은 영향인자로 나타났다(Fig. 3).

운영요인별 영향인자 중요도를 분석한 결과 Table 2, Fig. 4와 같다. ‘유입수 수질부하 변동(빈부하/고부하)’에서는

발생가능성이 0.353, 위험도가 0.231, 대응 및 복구 능력이 0.225 순으로 나타났으며, ‘에너지 저감’에서는 발생가능성이 0.371, 위험도 0.239, 시급성이 0.198, 대응 및 복구 능력이 0.191로 나타났다. ‘반응조 용량 부족’에서는 위험도가 0.292, 발생가능성 0.272로 두 항목이 비슷한 중요도로 나타났으며,

Table 2. Results of Weight Analysis by Operating Factor in Sewage Treatment Plant

Items	Weighted sum	Operating factor	Weight
Inflow Load	0.409	Possibility of occurrence	0.144
		Danger	0.094
		Urgency	0.078
		Response and recovery	0.092
Energy reduction	0.131	Possibility of occurrence	0.049
		Danger	0.031
		Urgency	0.026
		Response and recovery	0.025
Reactor capacity	0.190	Possibility of occurrence	0.052
		Danger	0.056
		Urgency	0.047
		Response and recovery	0.037
Chemical consumption	0.119	Possibility of occurrence	0.044
		Danger	0.029
		Urgency	0.019
		Response and recovery	0.026
Advanced treatment	0.151	Possibility of occurrence	0.050
		Danger	0.040
		Urgency	0.033
		Response and recovery	0.028

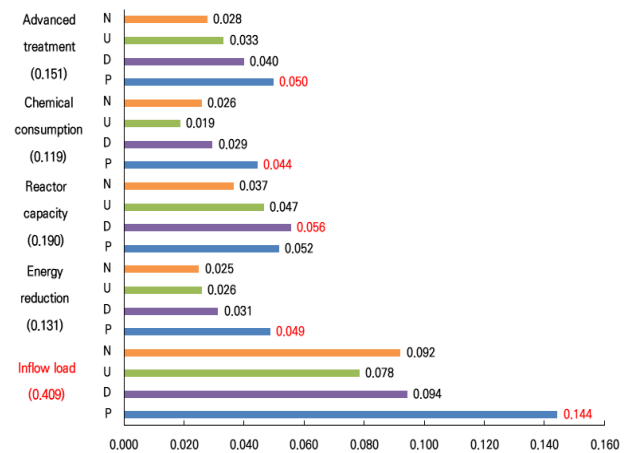


Fig. 3. Results of Weight Analysis by Operating Factor in Sewage Treatment Plant

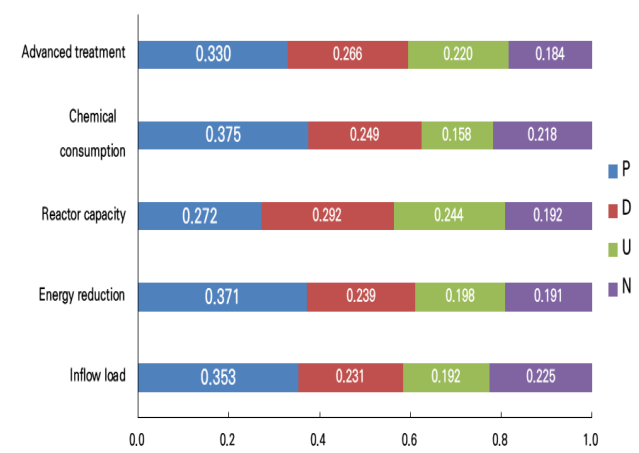


Fig. 4. Results of Weight Analysis by Affecting Factors in Sewage Treatment Plant

‘약품소비량 감소’에서는 발생가능성 0.375, 위험도 0.249, 대응 및 복구 능력이 0.218로 나타났으며 ‘고도처리공정 증설’에서는 발생가능성 0.330, 위험도 0.266, 시급성이 0.220으로 나타났다.

이와 같이 유입수 수질부하 변동(빈부하/고부하)에 따른 하수처리시설 운영에 영향이 큰 것으로 분석되었으며, 안정적인 하수처리를 위해 유입수의 양적 흐름, 수질 상태 파악을 통한 운영시뮬레이터 연계가 필요할 것으로 사료된다.

4.3 정수처리시설 분석 결과

정수처리시설 운영요인 중 ‘고탁수 유입수’가 47.1%로 가장 높은 중요도로 나타났으며, ‘반응조 용량 부족(31.3%)’, ‘고도처리공정 증설(9.9%)’ 순으로 나타났다. 운영요인별 세부지표 중요도를 살펴본 결과 ‘반응조 용량 부족’, ‘약품소비량 감소’를 제외한 요인들은 발생가능성이 가장 높은 영향인자로 나타났으며, ‘반응조 용량 부족’, ‘약품소비량 감소’에서는 위험도가 가장 높은 영향인자로 나타났다(Fig. 5).

운영요인별 영향인자 중요도를 분석한 결과 Table 3, Fig. 6과 같다. ‘고탁수 유입수’에서는 발생가능성이 0.310, 위험도가 0.289, 시급성이 0.210 순으로 나타났으며, ‘에너지 저감’에서는 발생가능성이 0.331, 위험도 0.248, 시급성이 0.222, 대응 및 복구 능력이 0.199로 나타났다. ‘반응조 용량 부족’에서는 위험도가 0.413, 시급성 0.224로 나타났으며, ‘약품소비량 감소’에서는 위험도 0.335, 발생가능성 0.256, 대응 및 복구 능력이 0.231로 나타났다. ‘고도처리공정 증설’에서는 발생가능성 0.456으로 약 절반 정도로 나타났으며, 위험도 0.225, 시급성이 0.198로 나타났다.

이와 같이 고탁수 유입수가 정수처리시설 운영에 영향이 큰 것으로 분석되었으며, 유입수의 양적 흐름, 수질 상태 파악을 통한 정상/비정상 상태 영향 예측을 위한 운영시뮬레이터 연계가 필요하다.

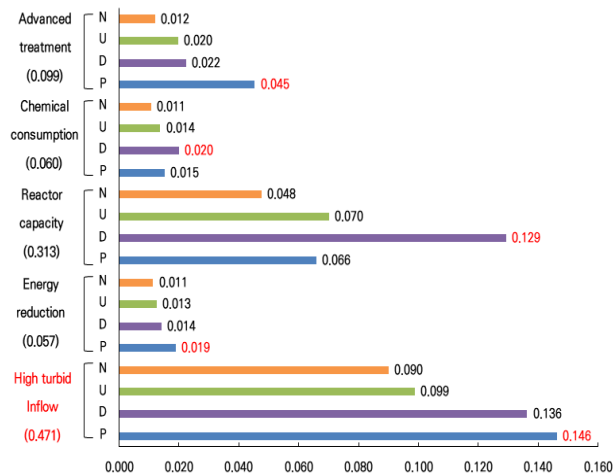


Fig. 5. Results of Weight Analysis by Operating Factor in Water Treatment Plant

4.4 하수 및 정수처리시설 운영시뮬레이터 및 DT 의사결정 활용방안

하수 및 정수처리시설 운영시뮬레이터 개발목표 설정 시 양적 흐름 연계와 실시간 현황 파악, 도시수자원의 정상운영 범위 내 단기예측정보 제공, 비정상상황(가뭄, 취수 불가, 홍수

Table 3. Results of Weight Analysis by Operating Factor in Water Treatment Plant

Items	Weighted sum	Operating factor	Weight
High turbid inflow	0.471	Possibility of occurrence	0.146
		Danger	0.136
		Urgency	0.099
		Response and recovery	0.090
Energy reduction	0.057	Possibility of occurrence	0.019
		Danger	0.014
		Urgency	0.013
		Response and recovery	0.011
Reactor capacity	0.313	Possibility of occurrence	0.066
		Danger	0.129
		Urgency	0.070
		Response and recovery	0.048
Chemical consumption	0.060	Possibility of occurrence	0.015
		Danger	0.020
		Urgency	0.014
		Response and recovery	0.011
Advanced treatment	0.099	Possibility of occurrence	0.045
		Danger	0.022
		Urgency	0.020
		Response and recovery	0.012

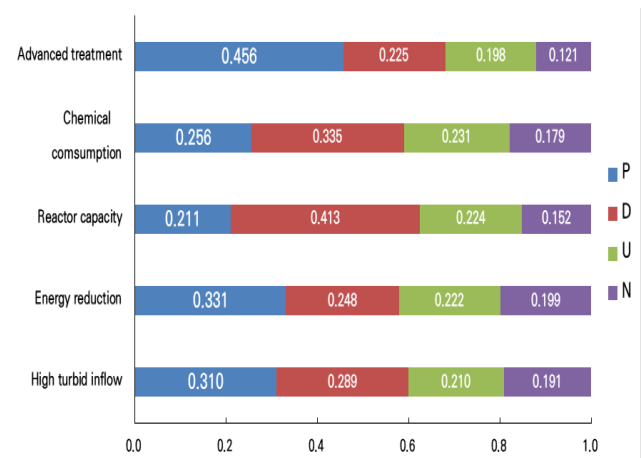


Fig. 6. Results of Weight Analysis by Affecting Factors in Water Treatment Plant

등) 시 영향 예측 등을 고려해야 한다. 또한 수자원의 계절적 변화가 큰 국내 여건을 고려할 때 유입수의 안정성 확보 및 성상 변동상황의 빠른 대처로 운전 인자를 조절함에 따라 정상적인 수처리 시스템의 운전에 활용 가능할 것으로 기대된다. 운영시뮬레이터 및 DT 의사결정 활용방안 마련을 위한 하수 및 정수처리시설별 의사결정 활용방안은 다음과 같다.

4.4.1 하수처리시설

하수처리시설 운영시뮬레이터 활용을 위해 수질기준과 연계방안 마련 필요, DB의 정확한 분석 및 예측과 예방, 선제적 대응 연계방안 마련 필요, 에너지 및 운영 절감 등이 필요하다. DT 의사결정 활용을 위해서는 중장기적인 하수관로, 처리시설 증설 및 개량 등 사업 결정 및 방향성 설정에 직접적인 영향을 줄 것으로 예상되며 하수처리장 운영 시 효율적인 관리가 가능하게 해야 한다. 또한, 에너지 절감을 고려한 안정적인 수질 처리가 가능하도록 시스템 구성 및 운영이 필요하다.

4.4.2 정수처리시설

정수처리시설 운영시뮬레이터 활용을 위해서는 CPS 반영 시 실제의 변수나 문제점 중 시설 운영에 크게 영향을 미치는 요소를 시뮬레이터에 반영하여 예측하는 시스템 구축이 필요하다. 그리고 통합관리를 위해 각 시설물에 대한 운영 및 관리 주체가 상이하여 발생할 수 있는 문제점에 대한 고려가 필요하다. DT 의사결정의 경우 정수 및 하수처리 시설이 지역별 상이하므로 모든 사항을 반영하여 구현이 어려울 수 있으므로 표준시스템을 만들고 추가적인 사항을 모듈로 구축할 수 있도록 개발이 필요하다. 또한, 다중상황에 대한 데이터모델 보완, AI 모델 검증 방안 마련 등이 필요하다.

5. 결론 및 제언

하수 및 정수처리시설 AHP 분석결과 다음과 같은 결과가 도출하였다.

1. 하수 및 정수처리시설 모두 유입수 부하가 가장 큰 운영요인으로 나타났다.
2. 하수처리시설 운영요인 중 ‘유입수 수질 부하 변동’이 40.9%로 가장 높은 중요도로 나타났으며, 영향인자는 발생가능성이 0.144로 가장 큰 가중치로 나타났다.
3. 정수처리시설 운영요인 중 ‘고탁수 유입수’가 47.1%로 가장 높은 중요도로 나타났으며, 영향인자 중 발생가능성 0.146, 위험도 0.136으로 높은 가중치로 나타났다.

하수 및 정수처리시설 DT 의사결정을 활용한 시뮬레이터 개발목표 설정 시 유입수의 안정성 확보 및 성상 변동상황에 대한 빠른 대처로 운전 인자를 조절함에 따라 정상적인 수처리 시스템의 운전에 활용 가능할 것으로 기대된다.

국내 물산업은 공공성이 가진 특성으로 데이터 공개가

제한적인 점이 있다. 국가 예산을 투입하여 구축한 공공정보에 대한 수집 및 공개, 효율적인 활용을 위해서는 빅데이터 수집을 위한 연구 및 지원이 필요하다. 실시간 모니터링 및 분석 결과를 위한 시뮬레이터 적용을 위해서는 실시간 데이터 수집을 위한 첨단 광학센서 개발의 국산화가 필요하며, 실시간 수질 모니터링을 통해 기존 분석기기 초기 투자(설치)비용 및 유지관리비용을 적게 운영하면서도 수처리시설 에너지 절감효과를 도출하기 위한 노력이 필요하다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002950002).

References

- Choi, M.C. (2020). Evaluation of analytic hierarchy process method and development of a weight modified model. *Daehan Academy of Management Information System*, Vol. 39, No. 2, pp. 145-162. pISSN 1598-2459.
- Imfact. (2019). *Market conditions by water industry sector and business trends of participating companies*. ISBN 979-11-89935-05-4.
- Jeon, S.S., Heo, J.W., and Son, H.M. (2020). *Prospects and implications of the water industry ecosystem in the smart era*. Korea Institute Science & Technology Evaluation and Planning Issue paper, 2014-17, pp. 1-42.
- Kim, W.J., Park, C.K., and Shin, S.J. (2004). Estimating cost adjustment factors of software development projects using analytic hierarchy process. *IE Interfaces*, Vol. 17, pp. 1-10.
- Kim, D.J., and Lee, M.J. (2015). The analysis of performance assessment weighting for sewage treatment using analytic hierarchy process (AHP). *Korean Society of Civil Engineers*, pp. 37-38.
- Kim, G.T., Yu, D.G., Jeong, G.H., Jeon, H.D., and Yu, G.T. (2021). Constants for cooperation and sewage treatment plant simulator. *Water for future*, Vol. 54, No. 7, pp. 17-27. pISSN 1738-9488.
- Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT). (2014). *ICT convergence energy reduction water plant management system*. Market Leading Products.
- Park, J.S., Park, J.H., Choi, J.S., Joo, J.C., Park, K.H., Yoon, H.C., et al. (2020). Ensemble model development for the prediction of a disaster index in water treatment systems. *Water*, Vol. 12, No. 11, 3195.

PROCON. (2019). *Manufacturing of shipbuilding machine materials, application plan of digital twin technology for smart factories, Procon special.*

<i>Received</i>	October 21, 2021
<i>Revised</i>	October 22, 2021
<i>Accepted</i>	October 28, 2021